Tóm tắt mô hình CAM3.0
Giới thiệu ngắn ngọn về bài báo mô hình CAM3.0

MÔ HÌNH KHÍ HẬU KHÍ QUYỂN CAM3.0

TS. Trần Quang Đức

Khoa Khí tượng-Thủy văn và hải dương học

Trường Đại học Khoa học tự nhiên, ĐHQG Hà Nội

CAM3.0 là mô hình khí hậu khí quyển 3-chiều thế hệ thứ năm, là phiên bản gần đây nhất được thiết kế tại Trung Tâm Nghiên Cứu Khí Quyển Quốc Gia – Hoa Kỳ (NCAR). Thế hệ mô hình đầu tiên đã được phát triển trên 15 năm, trải qua nhiều phiên bản với những cải tiến, nâng cấp đến nay CAM3.0 gồm nhiều tính năng, có cơ sở vật lý chặt chẽ, cấu trúc mô hình tương đối đơn giản. Sử dụng CAM3.0 chạy mô phỏng hạn dài, tiến hành đánh giá bước đầu một tháng tiêu biểu mùa hè và mùa đông.

Lịch sử mô hình CAM3.0
Giới thiệu lịch sử phát triển mô hình CAM3.0

Tóm tắt lịch sử phát triển

CAM 3.0 là tên bộ mô hình khí hậu khí quyển, được viết tắt bằng cách lấy 3 chữ cái đầu tiên của 3 từ tiếng Anh "Community Atmosphere Model 3.0", có nghĩa là "Mô hình khí quyển cộng đồng 3.0" [4].

Khoảng 15 năm gần đây, nhóm Khí hậu và Động lực toàn cầu (Climate and Global Dinamics - CGD) thuộc Trung tâm nghiên cứu khí quyển quốc gia – Hoa Kỳ (NCAR) đã xây dựng mô hình tổng quát khí quyển toàn cầu 3 chiều.

Với mong muốn được phổ biến rộng rãi, mô hình được thiết kế có những công cụ mang tính cộng đồng, nhiều người có thể sử dụng, sáng tạo và phát triển nên nó được đặt tên là "Mô hình khí hậu cộng đồng" (Community Climate Model - CCM).

Phiên bản gốc Mô hình khí hậu cộng đồng của Trung tâm nghiên cứu khí quyển quốc gia, CCM0A (1982) và CCM0B (1983), dựa trên cơ sở mô hình phổ của Úc 1977, 1978 và phiên bản đoạn nhiệt mô hình phổ (1979).

Thế hệ thứ hai mô hình cộng đồng, CCM1, được giới thiệu vào tháng 7 năm 1987, bao gồm một loạt những thay đổi đáng kể trong xây dựng mô hình, chúng làm thay đổi cơ bản đối với mô phỏng khí hậu. Những thay đổi chính trong mô hình bao gồm thay đổi tham số hoá bức xạ, sửa lại kỹ thuật vi phân đối với chỉ số động lực, sửa lại các quá trình khuếch tán theo phương thẳng đứng và phương ngang, và thay đổi tới trao đổi năng lượng bề mặt.

CCM2 thế hệ thứ ba của Mô hình khí hậu cộng đồng, được giới thiệu vào tháng 10 năm 1992. Phiên bản này là kết quả của sự gắng sức lớn nâng cấp, thể hiện vật lý khoảng rộng các quá trình khí hậu, bao gồm: mây, bức xạ, đối lưu ẩm, lớp biên hành tinh và vận chuyển năng lượng.

Mã nguồn CCM2 được cấu trúc lại sao cho thoả mãn được ba mục tiêu chính:

- Dễ sử dụng hơn, bao gồm cả sự linh hoạt sử dụng trên các môi trường khác nhau;
- Tiện lợi kết nối giao diện vật lý chuẩn;
- Kết nối những công việc đơn lẻ bằng những khả năng đa nhiệm.

Cấu hình mô hình chuẩn CCM2 có sự khác biệt cơ bản so với phiên bản trước ở hầu hết mọi khía cạnh, bắt đầu từ độ phân giải, ở đây CCM2 sử dụng độ phân giải phổ theo phương ngang T42 (bước lưới xấp xỉ 2,8x2,8 độ), với 18 mực theo phương thẳng đứng và mực trên cùng cứng 2,917 mb. Thay đổi động lực bao gồm sử dụng trục toạ độ thẳng đứng địa hình lai, kết hợp sơ đồ Bán-Lagrangian cho vận chuyển ẩm theo phương ngang. Những thay đổi cơ bản về vật lý bao gồm việc sử dụng gần đúng -Eddington để tính hấp thụ bức xạ mặt trời, sử dụng dạng đường Voigt để thực tế hơn đối với bức xạ hồng ngoại làm lạnh tầng bình lưu vv…

CCM3 là thể hệ thứ tư trong loạt Mô hình khí hậu cộng đồng của NCAR. Có nhiều thay đổi quan trọng trong lựa chọn tham số hoá vật lý, những thay đổi về động lực. Chú trọng sửa đổi vật lý tiêu biểu đối với các quá trình khí hậu riêng trong CCM3, cũng như sửa đổi để mô hình khí quyển kết nối tiện lợi, phù hợp hơn với các mô hình thành phần đất, đại dương, băng biển. Có nghĩa là thay đổi quan trọng đối với mô hình khí quyển hướng tới hệ thống hoá tốt hơn các nguồn năng lượng tại đỉnh và bề mặt khí quyển. So sánh với phiên bản CCM2 những thay đổi chính có thể nhóm thành 5 nhóm:

- Thay đổi đối với truyền bức xạ qua cột không khí có và không có mây;
- Thay đổi các quá trình thuỷ văn (những thay đổi trong lớp biên, đối lưu ẩm, và trao đổi năng lượng bề mặt);
- Kết nối mô hình bề mặt đất phức tạp;
- Kết nối thành phần đại dương lớp xáo trộn mỏng/nhiệt động lực biển băng;

- Lựa chọn những thay đổi khác có tính hình thức, mà không gây ra những thay đổi tới bản chất mô hình khí hậu.

CAM 3.0 là thế hệ thứ năm mô hình khí hậu toàn cầu của NCAR. Tên được thay đổi từ ‘Mô hình khí hậu cộng đồng’ thành ‘Mô hình khí quyển cộng đồng’ để phản ánh vai trò của CAM 3.0 trong hệ thống khí hậu kết nối đầy đủ. Khác hẳn với những thế hệ mô hình khí quyển trước, CAM 3.0 được thiết kế qua sự kết hợp giữa những người sự dụng và những người xây dựng trong Nhóm làm việc mô hình khí quyển (AMWG).

Những thay đổi chính về vật lý bao gồm:

- Ngưng kết nước mây sử dụng sản phẩm dự báo. Sửa đổi tham số hoá theo hướng thực tế hơn cho sự bốc hơi và ngưng kết dưới tác động bởi các quá trình qui mô lớn và sự thay đổi các phần mây;
- Trọn gói nhiệt động lực mới đối với băng biển;
- Thể hiện rõ ràng phần phủ của đất và biển băng;
- Mới, tổng quát, và tiếp cận mềm dẻo trong việc tính toán bức xạ: Những tham số hoá mới tính toán dòng bức xạ sóng ngắn, sóng dài và mức nhiệt lượng;
- Tham số hoá mới đối với hấp thụ sóng dài và phát xạ của hơi nước;
- Cập nhật mới hấp thụ gần hồng ngoại của hơi nước;
- Nền sol khí đồng dạng được thay thế bởi số liệu khí hậu hàng ngày đối với sulfat, muối biển, dioxitcarbon, bụi. CAM 3.0 bao gồm cả cơ chế tác động của sol khí núi lửa tới bức xạ sóng ngắn và sóng dài.

CAM 3.0 – là mô hình nghiên cứu, có thể chạy một cách độc lập và cũng có thể chạy kết hợp với các mô hình thành phần của Bộ mô hình khí hậu cộng đồng (CCSM – gồm bốn mô hình thành phần: Mô hình khí quyển, Mô hình đại dương, Mô hình đất, Mô hình băng biển) [1,2].

Động lực và tham số hóa mô hình CAM3.0
Giới thiệu về Động lực và tham số hóa mô hình CAM3.0

Động lực và tham số hóa vật lý

CAM 3.0 phân tách rõ ràng phần tham số hóa vật lý và phần động lực, có thể dễ dàng thay thế và biến đổi chúng một cách độc lập

Phương trình dự báo tổng quát cho biến ψcó dạng:

$$\frac{\partial\psi}{\partial t} = D\,\psi\; + P\,\psi \quad (1.1)$$

trong đó ψ là biến dự báo như nhiệt độ, thành phần gió ngang vv…, D thành phần động lực và P thành phần tham số hóa vật lý [4].

Động lực

Mô hình CAM 3.0 sử dụng ba dạng động lực: (i) Động lực Ơle, (ii) Động lực Bán-Lagrangian, (iii) Động lực thể tích hữu hạn. Trong khuôn khổ bài báo này sẽ chỉ mô tả hệ trục tọa độ thẳng đứng được dùng cho ba dạng động lực, và các phương trình đối với động lực thể tích hữu hạn.

Mô hình CAM 3.0 sử dụng hệ tọa độ thẳng đứng lai. Hệ tọa độ thẳng đứng lai được phát triển vào năm 1981 với mục đích cung cấp khung áp dụng chung cho trục tọa độ thẳng đứng, trong đó bám sát theo địa hình ở gần bề mặt Trái đất và trở thành hệ tọa độ áp suất ở những lớp trên. Hệ tọa độ lai là khái niệm chung hơn so với sơ đồ hệ tọa độ . Tuy vậy hệ tọa độ lai thường được định rõ theo cách sao cho hai hệ tọa độ đồng nhất [3].

Hệ tọa độ thẳng đứng đối với động lực Ơle [4]

Xuất phát từ những phương trình nguyên thủy trong hệ tọa độ thẳng đứng theo địa hình, yêu cầu định rõ những tính chất cơ bản của hệ tọa độ. Nếu áp suất bề mặt là π, thì trục tọa độ thẳng đứng $\eta\ p,\pi$ thỏa mãn:

1. $\eta\ p,\pi$ là hàm đơn của p

2. $\eta\ \pi,\pi\ = 1$

3. $\eta\ 0,\pi\ = 0$

4. $\eta\ p_t,\pi\ = \eta_t$ trong đó $p_t$là đỉnh mô hình

Hệ tọa độ thẳng đứng đối với động lực Bán-Lagrangian

Động lực Bán-Lagrangian sử dụng cùng hệ tọa độ thẳng đứng (η) như động lực Ơle, bằng

$p\ \eta,p_s\ = A(\eta)p_0 + B(\eta)p_s$ (1.2)

trong đó p là áp suất, ps áp suất bề mặt mô hình, po là hằng số áp suất tra cứu, A và B là các hệ số theo các mực mô hình.

Động lực thể tích hữu hạn

Trước hết xin đưa ra khái niệm "mật độ - giả" (pseudo-density) $\pi = \frac{\partial p}{\partial \zeta}$ (gradient áp suất thẳng đứng trong hệ tọa độ thẳng đứng tổng quát ζ).

Phương trình cân bằng thủy tĩnh trong hệ tọa độ Đề các có dạng:

$\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z} + g = 0$,(1.3)

trong đó   mật độ không khí, p áp suất, và g hằng số gia tốc trọng trường. Phương trình cân bằng thủy tĩnh mô tả mối quan hệ giữa mật độ-giả và mật độ thật trong hệ tọa độ thẳng đứng ζ có dạng:

$\pi = -\frac{\partial \Phi}{\partial \zeta}\rho$,(1.4)

trong đó $\Phi =$ gz địa thế vị. Ghi chú rằng πtrở thành “mật độ thật” nếu $\zeta = -$gz, áp suất bề mặt nếu $\sigma = \frac{p}{P_s}$. Phương trình mô tả định luật bảo toàn tổng khối lượng không khí có dạng:

$\frac{\partial}{\partial t}\pi + \nabla.\vec{V}\pi = 0$,(1.5)

trong đó $\vec{V} = u,v,\frac{d\zeta}{\mathrm{dt}}$. Tương tự như vậy phương trình mô tả định luật bảo toàn khối lượng đối với hơi nước có thể được viết

$\frac{\partial}{\partial t}\pi q + \nabla.\vec{V}\pi q = 0$(1.6)

trong đó q độ ẩm riêng hơi nước.

Phương trình mô tả định luật nhiệt động lực học thứ nhất đối với nhiệt độ thế vị θ có dạng:

$\frac{\partial}{\partial t}\pi\theta + \nabla.\vec{V}\pi\theta = 0$.(1.7)

Phương trình động lượng có dạng:

$\frac{\partial}{\partial t}u = \Omega v - \frac{1}{A\cos\theta}\left[\frac{\partial}{\partial \lambda}k + \Phi - \mathrm{vD} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial \lambda}p\right] - \frac{d\zeta}{\mathrm{dt}}\frac{\partial u}{\partial \zeta}$,(1.8)

$\frac{\partial}{\partial t}v = -\Omega u - \frac{1}{A}\left[\frac{\partial}{\partial \theta}k + \Phi - \mathrm{vD} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial \theta}p\right] - \frac{d\zeta}{\mathrm{dt}}\frac{\partial v}{\partial \zeta}$,(1.9)

trong đó λ,θ hệ tọa độ (kinh, vĩ), A bán kính Trái đất, hệ số phân kỳ lựa trọn, D phân kỳ ngang

$D = \frac{1}{A\cos\theta}\ \frac{\partial}{\partial \lambda}u + \frac{\partial}{\partial \theta}v\cos\theta$,

$k = \frac{1}{2}u^2 + v^2$,

và Ω , thành phần thẳng đứng xoáy tuyệt đối, được xác định theo:

$$\Omega = 2\omega\sin\theta + \frac{1}{A\cos\theta}\left(\frac{\partial}{\partial\lambda}v - \frac{\partial}{\partial\theta}u\cos\theta\right),$$

trong đó ω vận tốc góc của Trái đất.

Tham số hóa vật lý [4]

Tham số hóa trong CAM 3.0 bao gồm một chuỗi các thành phần, được minh họa bởi

P = {M,C, R, S, T},(1.10)

Trong đó M biểu thị (Moist) quá trình giáng thủy, C biểu thị mây (Cloud), R biểu thị bức xạ (Radiation), S biểu thị mô hình đất (Surface model), và T biểu thị xáo trộn rối (Turbulent mixing). Mỗi trong số các thành phần trên lần lượt được chia nhỏ thành các thành phần con khác nhau:

M quá trình giáng thủy gồm:

- Đoạn nhiệt khô điều chỉnh có lựa trọn, chỉ áp dụng trong tầng bình lưu;

- Đối lưu sâu;

- Đối lưu nông;

- Ngưng kết qui mô lớn ổn định.

C tham số hóa mây: tính toán phần mây, chúng ảnh hưởng mạnh tới tham số hóa bức xạ.

R tham số hóa bức xạ gồm:

- Tham số hóa bức xạ sóng ngắn (Chu trình ngày đêm, son khí, đặc tính quang học mây, giao thoa mây, các thông lượng bức xạ sóng ngắn và mức độ đốt nóng);

- Tham số hóa bức xạ sóng dài (Hấp thụ, hơi nước, khí ga hiếm, tỉ lệ xáo trộn khí ga hiếm, phát xạ của mây).

S tham số hóa các dòng bề mặt (trao đổi bề mặt của nhiệt, ẩm và động lượng) gồm:

- Mô hình đất;

- Mô hình đại dương;

- Mô hình băng biển;

- Hoặc tính toán các dòng trên cơ sở các điều kiện bề mặt riêng như nhiệt độ mặt nước biển và phân bố biển băng.

T tham số hóa xáo trộn rối mà các thông lượng điều kiện biên dưới được cung cấp từ các dòng bề mặt được tham số hóa từ thành phần S , bao gồm:

- Tham số hóa lớp biên hành tinh;

- Khuyếch tán thẳng đứng;

- Ảnh hưởng sóng trọng trường.

Cấu trúc mô hình CAM3.0
Giới thiệu về cấu trúc mô hình CAM3.0

Cấu trúc mô hình CAM 3.0 [2]

Mô hình CAM 3.0 có thể được mô tả bởi ba khối chính: (i) khối số liệu đầu vào, (ii) khối tính toán xử lý CAM 3.0, (iii) khối kết quả đầu ra (Hình 1).

Khối số liệu đầu vàoKhối CAM 3.0Khối kết quả đầu ra

Hình 1: Sơ đồ khối cấu trúc mô hình CAM 3.0

Khối số liệu đầu vào gồm một loạt các trường: số liệu khí nhà kính, khối số liệu điều kiện ban đầu, số liệu ozon vv…được mô tả trên Hình 2

Khối số liệu đầu vào

Số liệu khínhà kínhSL điều kiệnban đầu cho mô hình đất

Số liệu địa hìnhKhối số liệu điều kiệnban đầu

SL bề mặt phân giải caoSố liệu Ozon

Số liệu thực vậtSSTSố liệu khí sulfatSố liệu bức xạ

Hình 2: Sơ đồ khối mô tả khối số liệu đầu vào

Trong đó, khối số liệu điều kiên ban đầu gồm một loạt trường các yếu tố mà các giá trị được cho tại các nút lưới (Hình 3).

Khối số liệu điều kiện ban đầu



FIXME: A LIST CAN NOT BE A TABLE ENTRY. Nhiệt độThành phần gió vĩ hướng, kinh hướngĐộ ẩm riêng hơi nướcThế vị bề mặtÁp suất bề mặt	FIXME: A LIST CAN NOT BE A TABLE ENTRY. Dấu phân biệt đất/đại dươngNhiệt độ bề mặtNhiệt độ bề mặt tuyết băngĐộ dầy tuyếtKiểu đấtNhiệt độ 4 tiểu lớp băng biển

Hình 3: Trường các yếu tố bao gồm trong khối số liệu điều kiện ban đầu

Khối tính toán xử lý CAM 3.0 gồm nhiều các chương trình con xử lý số liệu và tính toán: chương trình lập cấu hình, chương trình đọc số liệu, khối tính toán động lực vv…được mô tả trên Hình 4

Khối CAM 3.0

Các CT lập cấu hình và thực thiCT kiểm soát lưới

Mô hình băng biểnCT đọc số liệu

Mô hình đấtKhối động lực

CT kết nối các thành phầnMô hình số liệu đại dương

Mô hình cột đơnCT so sánh kết quảVật lý (bức xạ, đối lưu…)Mô hình đại dương lớp mỏng

Hình 4: Sơ đồ khối tính toán sử lý CAM 3.0

Khối số liệu đầu ra gồm gần 300 biến. Giá trị của các biến được cho tại các nút lưới với độ phân giải của lưới là 2,50 kinh, vĩ và 26 mực theo chiều thẳng đứng (Hình 5).

Khối đầu ra

-
- Có định dạng NetCDF
- Độ phân giải ngang 2,50 và 26 mực thẳng đứng

- Gần 300 biến kết xuất

…Độ ẩm riêngQ (kg/kg)Nhiệt độT (K)Áp suất mực biểnPSL (Pa)Áp suất bề mặtPS (Pa)

Hình 5: Sơ đồ khái quát khối kết quả đầu ra